

2025年2月4日 実施

東邦大学

医学部 一般 物理

(制限時間 理科2科120分)

解答速報

医学部専門予備校



解 答



1 問1 e 問2 b 問3 e 問4 g

2 問1 c 問2 f 問3 e 問4 e 問5 d 問6 f 問7 a

3 問1 c 問2 c 問3 d 問4 a 問5 c

4 問1 f 問2 f

5 問1 a 問2 f 問3 b 問4 f 問5 f

6 問1 e 問2 d 問3 f 問4 f

解 説

1

問1 $x = 0$ から台が動き出した時刻を $t = 0$ とする。小球がPから投射される時刻を t_1 、Pに落ちる時刻を t_2 とすると、台の等加速度運動より、

$$\ell = \frac{1}{2} \frac{g}{2} t_1^2 \quad \therefore \quad t_1 = 2\sqrt{\frac{\ell}{g}}$$

$$9\ell = \frac{1}{2} \frac{g}{2} t_2^2 \quad \therefore \quad t_2 = 6\sqrt{\frac{\ell}{g}}$$

したがって、求める時間は、

$$t_2 - t_1 = 4\sqrt{\frac{\ell}{g}}$$

$$\text{答) e: } 4\sqrt{\frac{\ell}{g}}$$

問2 放物運動中、小球の水平方向の速度(右向きを正として v_x とおく)は一定であるから、小球の最高点における速さは v_x である。時間 $t_2 - t_1$ で等速度運動した距離が 8ℓ であることから、

$$v_x = \frac{8\ell}{t_2 - t_1} = \frac{8\ell}{4\sqrt{\frac{\ell}{g}}} = 2\sqrt{g\ell}$$

$$\text{答) b: } 2\sqrt{g\ell}$$

問3 時刻 t_1 での台の速さ V_1 は時刻0から t_1 までの等加速度運動に注目して、

$$V_1 = \frac{g}{2} t_1 = \sqrt{g\ell}$$

よってこの瞬間の台から見た小球の速度の水平成分 u_x は、

$$u_x = v_x - V_1 = \sqrt{g\ell}$$

台から見た小球の速度の鉛直成分を u_y とする(上向きを正)。速度の鉛直成分は床から見ても等しい。小球が射出されてから最高点に達する時間は $\frac{t_2 - t_1}{2}$ であるから、鉛直方向の等加速度運動に注目して、

$$u_y = g \frac{t_2 - t_1}{2} = 2\sqrt{g\ell}$$

ゆえに台から見た小球の投射速度の大きさは、

$$u = \sqrt{u_x^2 + u_y^2} = \sqrt{5g\ell}$$

$$\text{答) e: } \sqrt{5g\ell}$$

問4 $\tan \theta = \frac{u_y}{u_x} = 2$ である。

答) g : 2

2

問1 向心方向の運動方程式を立てればよい。円運動の半径は $\frac{\ell}{2}$ である。Pにおける張力の大きさを T とすれば、張力の向心方向成分は $T \sin 30^\circ = \frac{T}{2}$ だから、

$$m \frac{v^2}{\frac{\ell}{2}} = \frac{T}{2} - mg \sin \theta \quad \therefore T = 2mg \sin \theta + \frac{4mv^2}{\ell}$$

$$\text{答) c : } 2mg \sin \theta + \frac{4mv^2}{\ell}$$

問2 求めるPにおける垂直抗力の大きさを N とすれば、法線方向の力のつり合いより、

$$N + \frac{\sqrt{3}}{2}T = mg \cos \theta$$

$$\therefore N = mg \cos \theta - \frac{\sqrt{3}}{2}T = mg \cos \theta - \frac{\sqrt{3}}{2} \left(2mg \sin \theta + \frac{4mv^2}{\ell} \right)$$

$$= (\cos \theta - \sqrt{3} \sin \theta)mg - 2\sqrt{3} \frac{mv^2}{\ell}$$

$$\text{答) f : } (\cos \theta - \sqrt{3} \sin \theta)mg - 2\sqrt{3} \frac{mv^2}{\ell}$$

問3 求めるQにおける速さを v' とすると、力学的エネルギー保存の法則より、

$$\frac{1}{2}mv'^2 + mgl \sin \theta = \frac{1}{2}mv^2 \quad \therefore v' = \sqrt{v^2 - 2gl \sin \theta}$$

$$\text{答) e : } \sqrt{v^2 - 2gl \sin \theta}$$

問4 求めるQにおける張力の大きさを T' とすれば、向心方向の運動方程式より、

$$m \frac{v'^2}{\frac{\ell}{2}} = mg \sin \theta + \frac{T'}{2}$$

$$\therefore T' = 4m \frac{v'^2}{\ell} - 2mg \sin \theta = 4m \frac{v^2 - 2gl \sin \theta}{\ell} - 2mg \sin \theta$$

$$= \frac{4mv^2}{\ell} - 10mg \sin \theta$$

$$\text{答) e : } \frac{4mv^2}{\ell} - 10mg \sin \theta$$

問5 Qにおける垂直抗力の大きさを N' とすれば、法線方向の力のつり合いより、

$$N' + \frac{\sqrt{3}}{2}T' = mg \cos \theta \quad \therefore N' = mg \cos \theta - \frac{\sqrt{3}}{2}T'$$

よって、

$$N' - N = \frac{\sqrt{3}}{2}(T - T') = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 12mg \sin \theta = 6\sqrt{3}mg \sin \theta$$

答) d: $6\sqrt{3}mg \sin \theta$

問6 v があまり小さいと Q に達する前に糸がたるむ。 v があまり大きいと P を出た直後に平面板から離れる。すなわち円運動の実現条件は $T' > 0$ かつ $N > 0$ であること。

Q で糸がたるまない ($T' > 0$)

$$\frac{4mv^2}{\ell} - 10mg \sin \theta > 0 \quad \therefore v > \sqrt{\frac{5g\ell \sin \theta}{2}}$$

P で平面板から離れない ($N > 0$)

$$(\cos \theta - \sqrt{3} \sin \theta)mg - 2\sqrt{3} \frac{mv^2}{\ell} > 0 \quad \therefore v < \sqrt{\frac{\cos \theta - \sqrt{3} \sin \theta}{2\sqrt{3}} g\ell}$$

ゆえに実現条件は,

$$\sqrt{\frac{5g\ell \sin \theta}{2}} < v < \sqrt{\frac{\cos \theta - \sqrt{3} \sin \theta}{2\sqrt{3}} g\ell}$$

v の下限は $\sqrt{\frac{5g\ell \sin \theta}{2}}$ である。

答) f: $\sqrt{\frac{5g\ell \sin \theta}{2}}$

問7 円運動の実現条件を満たす v が存在すればよい。よって,

$$\sqrt{\frac{5g\ell \sin \theta}{2}} < \sqrt{\frac{\cos \theta - \sqrt{3} \sin \theta}{2\sqrt{3}} g\ell} \quad \therefore \tan \theta < \frac{\sqrt{3}}{18}$$

答) a: $\frac{\sqrt{3}}{18}$

3

問1 $r = \frac{7}{2}a$ は中空導体球 B の内部である。導体内には電場ができないことから

$V\left(\frac{7}{2}a\right) = V(4a)$ である。 B の外側に生じる電場は中心に点電荷 Q がある場合と同じであるから、無限遠から $r = 4a$ までの電位差も中心に点電荷 Q がある場合と同じである。

$$V\left(\frac{7}{2}a\right) = V(4a) = \frac{kQ}{4a}$$

答) c: $\frac{kQ}{4a}$

問2 AとBの間 $a < r < 3a$ において生じる電場も中心に点電荷 Q がある場合と同じである。ゆえに $r = 3a$ と $r = 2a$ との電位差は $\frac{kQ}{2a} - \frac{kQ}{3a} = \frac{kQ}{6a}$ である。

$$V(2a) = V(4a) + \frac{kQ}{6a} = \frac{kQ}{4a} + \frac{kQ}{6a} = \frac{5kQ}{12a}$$

答) c : $\frac{5kQ}{12a}$

問3 導体内には電場ができないことから、

$$V\left(\frac{a}{2}\right) = V(a) = V(4a) + \frac{kQ}{a} - \frac{kQ}{3a} = \frac{11kQ}{12a}$$

答) d : $\frac{11kQ}{12a}$

問4 接地すると外部に電場は生じない。したがって $E(5a) = 0$ である。一方 $E(2a)$ はゼロでないことから、

$$\frac{E(5a)}{E(2a)} = 0$$

答) a : 0

問5 無限遠から $r = 3a$ までの電場は0である。ゆえに、

$$V(2a) = \frac{kQ}{2a} - \frac{kQ}{3a} = \frac{kQ}{6a}$$

答) c : $\frac{kQ}{6a}$

4

問1 加速された後の荷電粒子の速さを v とすれば、磁場中の荷電粒子の円運動の半径 r は、向心方向の運動方程式より、

$$m \frac{v^2}{r} = qvB \quad \therefore \quad r = \frac{mv}{qB}$$

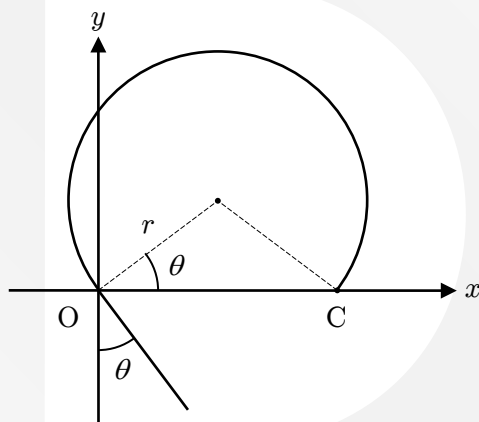
軌道は次図の通り。求めるCの x 座標は $x = 2r \cos \theta$ である。

速さ v はRS間の加速を考えれば、エネルギー保存則より、

$$\frac{1}{2}mv^2 = qV \quad \therefore \quad v = \sqrt{\frac{2qV}{m}}$$

以上より、

$$x = 2r \cos \theta = 2 \frac{mv}{qB} \cos \theta$$



$$= 2 \frac{m \sqrt{\frac{2qV}{m}}}{qB} \cos \theta = \frac{2 \cos \theta}{B} \sqrt{\frac{2mV}{q}}$$

$$\text{答) } f : \frac{2 \cos \theta}{B} \sqrt{\frac{2mV}{q}}$$

問2 荷電粒子がSR間を抜ける時間 t_1 は等加速度運動の式から、

$$d = \frac{1}{2} \frac{q \frac{V}{d}}{m} t_1^2 \quad \therefore \quad t_1 = d \sqrt{\frac{2m}{qV}}$$

荷電粒子がRO間を抜ける時間 t_2 は等速度運動より、

$$t_2 = \frac{\ell}{v} = \frac{\ell}{\sqrt{\frac{2qV}{m}}} = \ell \sqrt{\frac{m}{2qV}}$$

荷電粒子が円弧OCを運動する時間 t_3 は

$$t_3 = \frac{\frac{5}{3} \pi r}{v} = \frac{\frac{5}{3} \pi \frac{mv}{qB}}{v} = \frac{5\pi m}{3qB}$$

ゆえに求める時間は、

$$t_1 + t_2 + t_3 = (2d + \ell) \sqrt{\frac{m}{2qV}} + \frac{5\pi m}{3qB}$$

$$\text{答) } f : (2d + \ell) \sqrt{\frac{m}{2qV}} + \frac{5\pi m}{3qB}$$

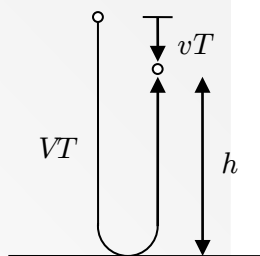
5

問1 気球Pの降下速度を v とすれば、ドップラー効果の式より、

$$f = \frac{V+v}{V-v} f_0 \quad \therefore \quad v = \frac{f-f_0}{f+f_0} V$$

$$\text{答) } a : \frac{f-f_0}{f+f_0}$$

問2 求めるPの地上からの高さを h とすれば、気球の降下距離 vT と、音波の進んだ距離 VT の関係は次図の通り。



図より,

$$h = \frac{VT - vT}{2} = \frac{VT - \frac{f - f_0}{f + f_0}VT}{2} = \frac{f_0}{f + f_0}VT$$

答) $f : \frac{f_0}{f + f_0}$

問3 地表で観測した振動数を f_1 とすると, ドップラー効果の式より,

$$f_1 = \frac{V}{V - v} f_0 = \frac{V}{V - \frac{f - f_0}{f + f_0}V} f_0 = \frac{f + f_0}{2}$$

答) b : $\frac{f + f_0}{2}$

問4 求める時間 t_1 は, 距離 $\frac{VT + vT}{2}$ を音波が進む時間として,

$$t_1 = \frac{\frac{VT + vT}{2}}{V} = \frac{\frac{VT + \frac{f - f_0}{f + f_0}VT}{2}}{V} = \frac{f}{f + f_0}T$$

答) $f : \frac{f}{f + f_0}$

問5 振動数 f_1 の音が時間 t_1 だけ遅れて届くため,

$$\begin{aligned} A \sin\{2\pi f_1(t - t_1)\} &= A \sin\left[2\pi \frac{f + f_0}{2} \left(t - \frac{f}{f + f_0}T\right)\right] \\ &= A \sin[\pi\{(f + f_0)t - fT\}] \end{aligned}$$

答) $f : A \sin[\pi\{(f + f_0)t - fT\}]$

6

問1 ポアソンの法則 $pV^\gamma = (\text{一定})$ を微分して,

$$dpV^\gamma + p \cdot \gamma V^{\gamma-1}dV = 0 \quad \therefore dp = -\gamma \frac{p}{V}dV$$

$y = 0$ における圧力 p は p_0 , 体積 V は V_0 である。 $y = 0$ から $y = -l$ までの圧力変化 dp を Δp とおく。体積変化 dV は $-Sl$ である。ゆえに,

$$\Delta p = -\gamma \frac{p_0}{V_0}(-Sl) = \frac{\gamma p_0 Sl}{V_0}$$

$y = 0$ でピストンはつり合っており, $y = 0$ から $y = -l$ までの力の変化は ΔpS であるから, $y = -l$ でピストンに働く力 F は,

$$F = \Delta pS = \frac{\gamma p_0 S^2 l}{V_0}$$

$$\text{答) e: } \frac{\gamma p_0 S^2 l}{V_0}$$

問2 単振動の復元力の比例定数を $k = \frac{\gamma p_0 S^2}{V_0}$ とすると、単振動の周期 T は、

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}} = 2\pi \sqrt{\frac{m}{\frac{\gamma p_0 S^2}{V_0}}} = \frac{2\pi}{S} \sqrt{\frac{m V_0}{\gamma p_0}}$$

$$\text{答) d: } \frac{2\pi}{S} \sqrt{\frac{m V_0}{\gamma p_0}}$$

問3 単振動の角振動数 ω は $\omega = S \sqrt{\frac{\gamma p_0}{m V_0}}$ ，振幅 A は $A = l$ である。 $y = h_1$ における速

さを v_1 とすれば、単振動の位置 y と速度 v の関係 $y^2 + \frac{v^2}{\omega^2} = A^2$ より、

$$h_1^2 + \frac{v_1^2}{\omega^2} = l^2 \quad \therefore \quad v_1 = \omega \sqrt{l^2 - h_1^2} = \sqrt{\frac{\gamma p_0 S^2 (l^2 - h_1^2)}{m V_0}}$$

$$\text{答) f: } \sqrt{\frac{\gamma p_0 S^2 (l^2 - h_1^2)}{m V_0}}$$

問4 状態方程式を微分して、

$$nRdT = pdV + dpV = pdV - \gamma \frac{p}{V} dV \cdot V = -(\gamma - 1)pdV$$

ゆえに内部エネルギーの微小変化 dU は、

$$dU = n(C_p - R)dT = -(\gamma - 1)(C_p - R)\frac{p}{R}dV$$

さて、題意の過程で A が外部からされた仕事 W は内部エネルギーの変化に等しい。体積変化は $-Sh_2$ である。よって、

$$W = -(\gamma - 1)(C_p - R)\frac{p_0}{R}(-Sh_2) = (\gamma - 1)(C_p - R)\frac{p_0 Sh_2}{R}$$

$$\text{答) f: } (\gamma - 1)(C_p - R)\frac{p_0 Sh_2}{R}$$

※ 問4 ではその解答選択肢から「断熱変化であることに注目して、熱力学第一法則より内部エネルギーの増加として間接的に求めてほしい」という題意がうかがえるが、直接的にも A が外部からされた仕事 W を求めることができる。

気体 A とピストンの境界において気体 A が上から受けている力は、ピストンが受ける重力と実験室の大気圧による力のみである。そしてこれらの合力は気体 A がピストンを上向きに支える力 $p_0 S$ とつり合っている。そして振動中も近似的にはつり合っているとみなせる。気体 A が外部からされた仕事 W は、気体 A が上から受けている力 $p_0 S$ のした仕事として、

$$W = p_0 S h_2$$

と表せる。

ここで比熱比 γ の定義とマイヤーの関係式 $C_p = C_v + R$ より,

$$\gamma = \frac{C_p}{C_v} = \frac{C_p}{C_p - R} \quad \therefore (\gamma - 1)(C_p - R) = R$$

である。ゆえにここで直接的に求めた仕事と、解答において間接的に求めた仕事は等しい。